



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 56 856 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 33/00**

②1 Aktenzeichen: 197 56 856.4  
②2 Anmeldetag: 19. 12. 97  
④3 Offenlegungstag: 2. 7. 98

③0 Unionspriorität:  
8-341085 20. 12. 96 JP  
  
⑦1 Anmelder:  
Sharp K.K., Osaka, JP  
  
⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München

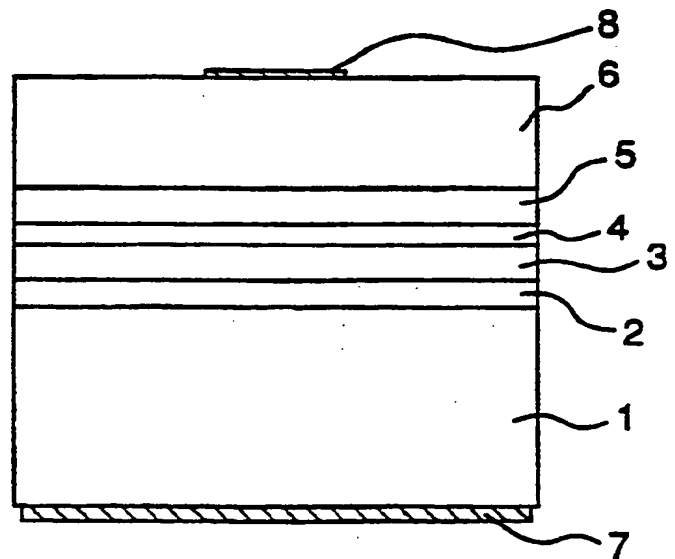
⑦2 Erfinder:  
Nakatsu, Hiroshi, Tenri, Nara, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Halbleiterlichtemissionsvorrichtung mit hoher Lichtemissionswirksamkeit

⑤7 Die Erfindung betrifft eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, in welcher eine Lichtemissionsschicht (4) auf einem Halbleitersubstrat (1) in einem Zustand einer Gitterfehlانpassung mit diesem Halbleitersubstrat (1) gebildet ist und durch die eine Lichtemission hoher Wirksamkeit erhalten wird. Ein als ein Grundmaterial der Lichtemissionsschicht (4) verwendetes Halbleitermaterial ist mit Fremdstoffen dotiert, die als Strahlungsrekombinationszentren dienen. Das Halbleitersubstrat (1) ist ein GaP-Substrat (1), und das als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht (4) dienende Halbleitermaterial ist  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ . Dieses  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material ist mit Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und weiterhin mit Magnesium, Zink oder Cadmium als einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus dotiert.



DE 197 56 856 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Halbleiterlichtemissionsvorrichtung und insbesondere auf eine Leuchtdiode mit einer Lichtemissionsschicht, die aus AlGaInP-Materialien hergestellt ist.

Es sei bemerkt, daß der Term "AlGaInP-Materialien" hier solche Materialien bezeichnet, bei denen Mischkristallverhältnisse  $x, y$  von  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$  in den Bereichen von  $0 \leq x, y \leq 1$  verändert werden.

Das  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material weist eine Gitteranpassung mit einem GaAs-Substrat bei einem In-Mischkristallverhältnis von  $y = 0.51$  auf. Darüber hinaus geht bei dem In-Mischkristallverhältnis von  $y = 0.51$  das Material in den Direktübergangstyp mit dem Al-Mischkristallverhältnis in dem Bereich von  $x = 0-0.7$  über, wo eine Lichtemission von hoher Helligkeit über einem weiten Wellenlängenbereich von Rot bis Grün erhalten werden kann. Als ein Ergebnis wird das  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material in jüngster Zeit weit verbreitet als Material von Leuchtdioden verwendet. Als eine solche Leuchtdiode der  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Familie gibt es, wie in Fig. 8 beispielhaft gezeigt, eine Diode, bei der eine n-Typ-GaAs-Pufferschicht 211, eine n-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 203, eine nicht-dotierte  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 210, eine p-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 205 und eine p-Typ-GaP-Stromstreichschicht 206 übereinander auf einem n-Typ-GaAs-Substrat 212 gestapelt sind. Um wirksam Injektionsladungsträger in der Aktivschicht 210 einzufangen, wird der Bandabstand der Überzugsschichten 203, 205 größer als derjenige der Aktivschicht 210 eingestellt (DH-(Doppelhetero-)Struktur). Zusätzlich ist eine n-Seitenelektrode 207 auf einer Unterseite des GaAs-Substrates 212 vorgesehen, und eine p-Seitenelektrode 208 ist auf einer Oberseite der Stromdiffusionsschicht 206 angeordnet. Da das In-Mischkristallverhältnis  $y$  auf  $y = 0.51$  eingestellt ist, was in die Gitteranpassung mit dem GaAs-Substrat fällt, wird die Kristallinität der  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien (Aktivschicht 210 und Überzugsschichten 203, 205), die zur Lichtemission beitragen, besser. Als ein Ergebnis hiervon werden, wie aus einer Energiebanddarstellung von Fig. 9A ersehen werden kann, die Umgebung der Unterseite (Energiewert  $E_c$ ) des Leitungsbandes der aktiven Schicht 210 und die Umgebung der Oberseite (Energiewert  $E_v$ ) des Valenzbandes beide parabolisch gestaltet, und wie aus der Fig. 9B zu ersehen ist, sind Spitzenwerte  $P_{10}, P_{20}$  der Zustandsdichte  $G(E)$  der Ladungsträger in dem Leitungsband und dem Valenzband jeweils nahe bei Bandenden  $E_c$  bzw.  $E_v$  von diesen Bändern. Daher ist die  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 210 selbst in der Lage, eine relativ hohe interne Quantenwirksamkeit aufzuweisen (die sich auf eine Wirksamkeit bezieht, bei welcher Elektrizität in Licht im Bereich von p-n-Übergängen umgesetzt wird).

Da jedoch bei der Struktur von Fig. 8 der Bandabstand des GaAs-Substrates 212 den Wert 1,42 eV hat, wird emittiertes Licht von Rot bis Grün absorbiert, so daß ein Lichtausgang auf weniger als die Hälfte vermindert wird, was ein Problem darstellt. In dem Fall, in welchem ein Lichtemissionsmaterial aus GaP, GaAsP, AlGaAs oder dergleichen hergestellt ist, besteht, da das GaAs-Substrat für die Lichtemissionswellenlängen transparent ist, keine Möglichkeit für ein Auftreten eines Problems aufgrund einer Lichtabsorption durch das Substrat. Wenn jedoch das Lichtemissionsmaterial aus  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$  hergestellt ist, kann eine solche Lichtabsorption durch das Substrat auftreten, sofern ein GaAs-Substrat verwendet wird, so daß eine externe Quantenwirksamkeit hiervon (die sich auf eine Wirksamkeit bezieht, bei welcher Licht nach außen abgegeben ist; gelegent-

lich auch einfach als "Wirksamkeit" oder "Lichtemissionswirksamkeit" bezeichnet) absinken würde.

Um die Lichtabsorption durch das Substrat zu vermeiden, wurde eine Leuchtdiode, wie in Fig. 10 gezeigt ist, vorgeschlagen, bei welcher eine n-Typ-GaAs-Pufferschicht 311, eine n-Typ-Verteilungs-Bragg-Reflexions-(DBR-)Schicht 313, eine n-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 303, eine nicht-dotierte  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 310, eine p-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 305 und eine p-Typ-GaP-Stromstreichschicht 306 übereinander auf einem n-Typ-GaAs-Substrat 301 gestapelt sind (Appl. Phys. Lett., Bd. 61, Nr. 15 (1992), S. 1775-1777). In dieser Leuchtdiode ist die DBR-Schicht 313, die durch abwechselndes Kombinieren von zwei Typen von Halbleiterschichten von unterschiedlichen Brechungsindizes in einer geeigneten Schichtdicke gebildet ist, zwischen dem GaAs-Substrat 301 und der n-Typ-Überzugsschicht 303 vorgesehen, so daß durch die Aktivschicht 310 emittiertes Licht nach oben durch die DBR-Schicht 313 reflektiert wird, um nicht die Seite des GaAs-Substrates 301 zu erreichen. Weiterhin wurde eine Leuchtdiode vorgeschlagen, wie diese in Fig. 11 gezeigt ist, welche durch die Schritte des Stapelns einer n-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 403, einer nicht-dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 410, einer p-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 405 und einer p-Typ-GaP-Stromstreichschicht 406 übereinander auf einem nicht dargestellten GaAs-Substrat, des Entfernens des GaAs-Substrates durch Ätzen und dann des Verbindens eines GaP-Substrates (mit einem Bandabstand von 2,27 eV) 414, das transparent für Lichtemissionswellenlängen von Rot bis Grün ist, mit einer freiliegenden Oberfläche (Übergangs- bzw. Verbindungsteil) 420 der Überzugsschicht 403 hergestellt ist (Appl. Phys. Lett., Bd. 64, Nr. 21 (1994), S. 2839-2841).

Jedoch kann bei der Leuchtdiode von Fig. 10 alles nach unten von der Aktivschicht 310 emittierte Licht nicht durch die DBR-Schicht 313 reflektiert werden, so daß ein Teil des Lichtes durch die DBR-Schicht 313 übertragen und durch das GaAs-Substrat 301 absorbiert wird. Als Ergebnis kann diese Leuchtdiode lediglich in der Lichtemissionswirksamkeit um das 1,5-fache zu derjenigen der Leuchtdiode von Fig. 8 gesteigert werden.

Außerdem begegnet die Leuchtdiode von Fig. 11 einer Schwierigkeit bei der Art des Verbindens des GaP-Substrates 414, was für eine Massenproduktion ungeeignet ist.

Ausgehend von diesem Hintergrund wurde bisher an eine Einrichtung gedacht, bei der das  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material nicht auf einem GaAs-Substrat aufwächst, sondern auf einem Substrat, das transparent für Emissionslichtwellenlängen (650 - 550 nm) des  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materials ist, insbesondere auf dem oben erwähnten GaP-Substrat (mit einem Bandabstand von 2,27 eV). Das heißt, es würde, wie in Fig. 6 veranschaulicht ist, an eine Leuchtdiode gedacht, bei der eine n-Typ-GaInP-Pufferschicht 104, eine n-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 103, eine nicht-dotierte  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 110, eine p-Typ- $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugsschicht 105 und eine p-Typ-GaP-Stromstreichschicht 106 auf einem n-Typ-GaP-Substrat 101 aufgewachsen sind.

Jedoch existiert, wie in Fig. 5 gezeigt ist, in der Nähe bzw. der Umgebung einer GaP-Gitterkonstanten von 5,451 Å kein Bereich, der einen direkten Übergang des  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materials erlaubt. Selbst wenn daher das  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material, das eine Gitteranpassung mit dem GaP-Substrat zeigt, auf dem GaP-Substrat 101 aufgewachsen ist, kann die Lichtemission einer hohen Wirksamkeit nicht erwartet werden. Aufgrund der Tatsache, daß die Gitterkonstante von 5,653 Å des GaAs-Substrates um etwa 3,6% größer als die Gitterkonstante von 5,451 Å des GaP-

Substrates ist, steigern sich, wenn die  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien 103, 110 und 105, die eine Gitteranpassung mit dem GaAs-Substrat zeigen, auf dem GaAs-Substrat 101 aufgewachsen sind, sogenannte fehlangepaßte Versetzungen (Versetzungen aufgrund einer Gitterfehl-anpassung) in den aufgewachsenen  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien 103, 110 und 105, so daß nicht-strahlende Rekombinationszentren mit der Übergangswahrscheinlichkeit einer reduzierten Lichtemission zunehmen, obwohl die GaInP-Pufferschicht 104 dazwischen vorgesehen ist, um die Gitterkonstantendifferenz zu entspannen. Das heißt, da Kristalle von verschiedenen Gitterkonstanten auf dem Substrat aufgewachsen sind, tritt eine Störung in der Periodizität des aufgewachsenen Kristallgitters auf, so daß ein definiertes verbotenes Band nicht vorliegen kann. Als ein Ergebnis hiervon ist, wie in Fig. 7A gezeigt ist, weder die Umgebung der Unterseite ( $E_c$ ) des Leitungsbandes der Aktivschicht 110 noch die Umgebung der Oberseite ( $E_v$ ) des Valenzbandes parabolisch geformt, wobei jedoch jede von diesen einen Schwanz von etwa einigen zehn meV hat, so daß, wie in Fig. 7B gezeigt ist, spitze Enden  $E_{c\#}$ ,  $E_{v\#}$  der Schwänze (nicht notwendigerweise bestimmt in der Lage) von den Spitzenwerten  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  der Zustandsdichte  $G(E)$  der Ladungsträger in dem Leitungsband bzw. dem Valenzband wegfallen. Als Ergebnis hiervon ist es unwahrscheinlich, daß injizierte Ladungsträger in der Umgebung der Bandenden  $E_c$ ,  $E_v$  rekombinieren, so daß die Übergangswahrscheinlichkeit der Lichtemission kleiner wird. Daher ist es für die Direktübergangstyp-Leuchtdiode, die durch Aufwachsen auf dem GaP-Substrat 101 von den  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien 103, 110 und 105, welche eine Gitteranpassung mit dem GaAs-Substrat zeigen, hergestellt sind, schwierig eine Lichtemission von hoher Wirksamkeit zu erhalten. Tatsächlich ist deren Lichtemissionswirksamkeit um zwei Größenordnungen oder mehr niedriger im Vergleich mit der Leuchtdiode von Fig. 8.

Selbst wenn somit das Halbleitersubstrat für die Lichtemissionswellenlängen transparent ist, weist eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, in welcher eine Lichtemissionsschicht (Aktivschicht) in einem Zustand einer Gitterfehl-anpassung mit dem Halbleitersubstrat aufgewachsen ist, ein Problem auf, nach welchem eine Lichtemission von hoher Wirksamkeit nicht erhalten werden kann.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung zu schaffen, in welcher eine Lichtemissionsschicht (Aktivschicht) auf einem Halbleitersubstrat in einem Zustand einer Gitterfehl-anpassung mit diesem Halbleitersubstrat gebildet wird und bei der eine Lichtemission von hoher Wirksamkeit erreicht werden kann.

Weiterhin soll eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung angegeben werden, bei welcher eine Lichtemissionsschicht, die von einem Vorgängermaterial aus  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien beruht, auf einem GaP-Substrat gebildet wird, und bei der eine Lichtemission von hoher Wirksamkeit über dem Wellenlängenbereich von Rot bis Grün erhalten werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Zur Lösung der obigen Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung also eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, bei der eine Lichtemissionsschicht, die Licht von Wellenlängen emittiert, das im wesentlichen nicht durch ein Halbleitersubstrat absorbiert wird, auf dem Halbleitersubstrat in einem Zustand einer Gitterfehl-anpassung mit dem Halbleitersubstrat gebildet wird, wobei die Lichtemissionsvorrichtung

dadurch gekennzeichnet ist, daß ein Halbleitermaterial, das als ein Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendet wird, mit wenigstens einem Fremdstoff bzw. einer Verunreinigung dotiert wird, der bzw. die als ein Strahlungsrekombinationszentrum dient.

Bei der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung der vorliegenden Erfindung ist der als ein Strahlungsrekombinationszentrum dienende Fremdstoff in der Lage, einen Fremdstoffpegel an einer Position, die von einem Ende eines verbotenen Bandes des Halbleitermaterials, das als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendet ist, entfernt ist, in dem verbotenen Band zu bilden. Selbst wenn in diesem Fall das Bandende des Halbleitermaterials, das als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendet wird, einen Schwanz aufgrund der Gitterfehl-anpassung mit dem Halbleitersubstrat hat, wird die Strahlungsrekombination über den Fremdstoffpegel kaum durch den Schwanz beeinträchtigt. Daher ist die interne Quantenwirksamkeit gesteigert. Auch wird das durch die Lichtemissionsschicht emittierte Licht nicht wesentlich durch das Halbleitersubstrat absorbiert, d. h. es tritt keine derartige Lichtabsorption auf, wie diese ein Übergang von der Oberseite des Valenzbandes zu der Unterseite des Leitungsbandes in dem Halbleitersubstrat verursachen würde, so daß auch die externe Quantenwirksamkeit nicht vermindert wird. Daher ist die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert.

In einem Ausführungsbeispiel enthält die Lichtemissionsschicht zwei Arten von Fremdstoffen mit einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus.

In der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung dieses Ausführungsbeispiels tritt eine Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau auf. Daher wird die interne Quantenwirksamkeit höher als diese ist, wenn lediglich ein Fremdstoff aus entweder dem ersten Fremdstoff oder dem zweiten Fremdstoff enthalten ist, so daß die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt weiter gesteigert ist.

In einem Ausführungsbeispiel ist das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von einem Ende eines Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials gelegen, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau ist innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von einem Ende eines Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials gelegen.

In diesem Fall beziehen sich ein Ende des Leitungsbandes und ein Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendeten Halbleitermaterials auf ein Ende des Leitungsbandes bzw. ein Ende des Valenzbandes in dem Fall, in welchem die Lichtemissionsschicht in einer Gitteranpassung mit dem Halbleitersubstrat gebildet ist. Das heißt, das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau sind bezüglich ursprünglicher Bandenden des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials definiert.

In der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung dieses Ausführungsbeispiels ist das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau über 30 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials entfernt, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau ist über 30 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials entfernt. Selbst wenn als Ergebnis das Ende des Leitungsbandes und das Ende des Valenzban-

des des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials jeweils einen Schwanz von etwa einigen zehn meV aufgrund der Gitterfehlpassung zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lichtemissionsschicht haben, wird die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau kaum durch die Schwänze beeinträchtigt. Auch liegt das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau innerhalb 200 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau liegt innerhalb 200 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials. Daher dienen diese ersten und zweiten Fremdstoffe jeweils wirksam als Strahlungsrekombinationszentren. Demgemäß wird die interne Quantenwirksamkeit weiter durch die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau gesteigert. Als Folge hiervon kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt zusätzlich verbessert werden.

Die vorliegende Erfindung schafft eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, in welcher eine Lichtemissionsschicht, die ein AlGaInP-Material als ein Grundmaterial enthält, auf einem GaP-Substrat in einem Zustand einer Gitterfehlpassung mit dem GaP-Substrat aufgewachsen ist, wobei die Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß das als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendete AlGaInP-Material mit Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und mit Magnesium, Zink oder Cadmium als einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus dotiert ist.

In der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung bilden Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als der erste Fremdstoff ein Donatorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials, während Magnesium, Zink oder Cadmium ein Akzeptorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials bilden. Das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau ist über 30 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials entfernt, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau ist über 30 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials entfernt. Selbst wenn daher das Ende des Leitungsbandes und das Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials jeweils einen Schwanz von etwa einigen zehn meV aufgrund der Gitterfehlpassung zwischen dem GaP-Substrat und der Lichtemissionsschicht haben, wird die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau kaum durch die Schwänze beeinträchtigt. Auch liegt das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau innerhalb 200 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau liegt innerhalb 200 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials. Daher dienen diese ersten und zweiten Fremdstoffe jeweils wirksam als Strahlungsrekombinationszentren. Demgemäß ist die interne Quantenwirksamkeit durch die Strahlungsrekombination zwischen dem

durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau gesteigert. Weiterhin wird Licht von Wellenlängen von Rot bis Grün, das durch die Lichtemissionsschicht abhängig von dem Energieabstand zwischen dem Donatorniveau, das durch den ersten Fremdstoff gebildet ist, und dem Akzeptorniveau, das durch den zweiten Fremdstoff gebildet ist, emittiert ist, nicht wesentlich durch das GaP-Substrat absorbiert (das GaP-Substrat ist transparent für die Emissionslichtwellenlängen des AlGaInP-Materials, nämlich für 650 nm bis 550 nm). Daher wird auch die externe Quantenwirksamkeit nicht niedriger. Folglich wird die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert, und eine Lichtemission von hoher Helligkeit kann in dem Wellenlängenband von Rot bis Grün erhalten werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine grundsätzliche Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 2A** und **2B** eine Darstellung eines Bandzustandes und eine Darstellung einer Zustandsdichteverteilung von Ladungsträgern gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**Fig. 3** eine grundsätzliche Darstellung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 4A** und **4B** eine Darstellung eines Bandzustandes bzw. eine Darstellung einer Zustandsdichteverteilung von Ladungsträgern gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**Fig. 5** ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einer Gitterkonstanten und einem Energieabstand des Halbleitermaterials der Lichtemissionsschicht und des Substrates veranschaulicht.

**Fig. 6** eine grundsätzliche Darstellung einer Leuchtdiode auf einem GaP-Substrat.

**Fig. 7A** und **7B** Darstellungen, die einen Bandzustand und eine Zustandsdichteverteilung von Ladungsträgern in der Leuchtdiode auf einem GaP-Substrat zeigen.

**Fig. 8** eine grundsätzliche Darstellung einer Leuchtdiode gemäß dem Stand der Technik.

**Fig. 9A** und **9B** eine Darstellung eines Bandzustandes und eine Darstellung, die eine Zustandsdichteverteilung von Ladungsträgern in der Leuchtdiode gemäß dem Stand der Technik angeben.

**Fig. 10** eine grundsätzliche Darstellung einer Leuchtdiode gemäß dem Stand der Technik, und

**Fig. 11** eine grundsätzliche Darstellung einer Leuchtdiode gemäß dem Stand der Technik.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung in Einzelheiten beschrieben.

**Fig. 1** zeigt eine Schnittdarstellung einer AlGaInP-Leuchtdiode gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Diese Leuchtdiode wird durch die folgenden Schritte gebildet: Erzeugen einer n-Typ-InGaP-Pufferschicht 2, einer mit Silizium dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugschicht 3 ( $x = 1.0$ ,  $y = 0.51$ ), einer mit Stickstoff-Zink-dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 4 ( $x = 0.5$ ,  $y = 0.51$ ) als einer Lichtemissionsschicht, einer mit Zink dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugschicht 5 ( $x = 1.0$ ,  $y = 0.51$ ) und einer mit Zink dotierten GaP-Stromstreichschicht 6, die nacheinander auf einem n-Typ-GaP-Substrat 1 aufgewachsen sind, das eine um  $15^\circ$  von der (001)-Ebene in die [110]-Richtung geneigte Ebene hat, beispielsweise durch einen MOCVD-(Metallorganische chemische Dampfabcheidung)Prozeß, und danach Erzeugen einer n-Seitenelektrode 7 auf der Unterseite des GaP-Substrates 1 bzw. einer p-Seitenelektrode 8 auf der Oberseite der Stromstreichschicht 6. Obwohl ein um  $15^\circ$  versetztes Substrat 1 verwendet wurde,

ist auch gerade ein Substrat mit einer (100)-Ebene geeignet. Die Dotierungskonzentration der Fremdstoffe in dem  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material, das als das Grundmaterial der Aktivschicht 4 verwendet wird, liegt im Bereich von  $1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  für Stickstoff als dem ersten Fremdstoff, der das Donatorniveau bildet, und im Bereich von  $1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  für Zn als dem zweiten Fremdstoff, der das Akzeptorniveau bildet.

Da die  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien 3, 4 und 5 in einem Zustand einer Gitterfehlpassung auf dem GaP-Substrat 1 aufgewachsen sind, wird weder die Umgebung der Unterseite (Energiewert  $E_c$ ) des Leitungsbandes noch die Umgebung der Oberseite (Energiewert  $E_v$ ) des Valenzbandes der Aktivschicht 4 nicht parabolisch gestaltet, sondern jede von diesen hat einen Schwanz von etwa einigen zehn meV, wie dies in der Energiebanddarstellung von Fig. 2A gezeigt ist, so daß spitze Enden (nicht notwendigerweise in der Lage festgelegt) der Schwänze von den Spitzenwerten  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  der Zustandsdichte  $G(E)$  der Ladungsträger in dem Leitungsband und dem Valenzband wegfallen, wie dies in Fig. 2B gezeigt ist. Aus diesem Grund ist die Übergangswahrscheinlichkeit einer normalen Lichtemission an Bandenden relativ gering.

Bei dieser Leuchtdiode bildet jedoch in der Aktivschicht 4 Stickstoff als der erste Fremdstoff ein Donatorniveau  $E_{(N)}$  an einer Position, die 30 meV von dem Ende (Boden)  $E_c$  des Leitungsbandes des Grundmaterials  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$  ( $x = 0.5$ ,  $y = 0.51$ ) entfernt ist, und Zink als der zweite Fremdstoff bildet ein Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  an einer Position, die 60 meV von dem Ende (Oberseite) des Valenzbandes des Grundmaterials  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$  entfernt ist ( $x = 0.5$ ,  $y = 0.51$ ) ( $P_1$ ,  $P_2$  in Fig. 2B zeigen Spitzenwerte der Zustandsdichte  $G(E)$  entsprechend zu diesem Donatorniveau  $E_{(N)}$  bzw. Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$ ). Das durch Stickstoff gebildete Donatorniveau  $E_{(N)}$  und das durch Zink gebildete Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  sind mehr als 30 meV von den Bandenden  $E_c$  bzw.  $E_v$  entfernt, so daß eine Strahlungsrekombination zwischen dem durch Stickstoff gebildeten Donatorniveau  $E_{(N)}$  und dem durch Zink gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  kaum durch die Schwänze beeinträchtigt wird. Da auch das durch Stickstoff gebildete Donatorniveau  $E_{(N)}$  und das durch Zink gebildete Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  jeweils innerhalb 200 meV von den Bandenden  $E_c$  bzw.  $E_v$  gelegen sind, dienen diese Stoffe Stickstoff und Zink wirksam jeweils als Strahlungsrekombinationszentrum. Daher ist die interne Quantenwirksamkeit durch die Strahlungsrekombination zwischen dem durch Stickstoff gebildeten Donatorniveau  $E_{(N)}$  und dem durch Zink gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  gesteigert. Obwohl die Aktivschicht 4 Licht von einer Wellenlänge entsprechend einem Energieabstand  $\Delta E_1$  zwischen dem Donatorniveau  $E_{(N)}$ , das durch Stickstoff gebildet ist, und dem durch Zink gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$  emittiert, wird das durch die Aktivschicht 4 emittierte Licht nicht wesentlich durch das GaP-Substrat absorbiert (da das GaP-Substrat für die Lichtemissionswellenlängen der AlGaInP-Materialien, nämlich 650 nm–550 nm, transparent ist), so daß auch die externe Quantenwirksamkeit nicht niedriger ist. Folglich kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert werden.

Tatsächlich wird bei der Leuchtdiode dieses ersten Ausführungsbeispiels die Lichtemissionswellenlänge zu 574 nm abhängig von einem Energieabstand  $\Delta E_1 = 2.16 \text{ eV}$  zwischen dem durch Stickstoff gebildeten Donatorniveau  $E_{(N)}$  und dem durch Zink gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Zn)}$ . In diesem Fall ist es möglich, eine Lichtemissionswirksamkeit von 1,0% zu erlangen. Dagegen beträgt bei der Leuchtdiode des Gitteranpaßtyps, bei der AlGaInP-Materialien auf einem GaAs-Substrat aufgewachsen sind, wie dies in Fig. 8

gezeigt ist, die Lichtemissionswellenlänge 550 nm abhängig von einem Bandabstand  $E_g (= 2.25 \text{ eV})$  mit den Mischkristallverhältnissen von  $x = 0.5$ ,  $y = 0.51$  der nicht-dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 210. In diesem Fall ist die sich ergebende Lichtemissionswirksamkeit durch 0,1% gegeben. Daher zeigt in einem Vergleich mit den gleichen Mischkristallverhältnissen  $x$ ,  $y$  der Aktivschicht die Leuchtdiode mit der Struktur des ersten Ausführungsbeispiels, daß die Lichtemissionswirksamkeit um das Zehnfache gegenüber der Leuchtdiode von Fig. 8 gesteigert werden kann. Auch bei der Leuchtdiode des Gitteranpaßtyps, bei der  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien auf ein GaAs-Substrat aufgewachsen sind, wie dies in Fig. 8 gezeigt ist, beträgt die Lichtemissionswellenlänge entsprechend 572 nm, wenn die nicht-dotierte  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 210 Mischkristallverhältnisse von  $x = 0.38$ ,  $y = 0.51$  hat. In diesem Fall beträgt die sich ergebende Lichtemissionswirksamkeit 0,35%. Daher hat sich gezeigt, daß in einem Vergleich hinsichtlich des Zustandes von im allgemeinen gleichen Lichtemissionswellenlängen die Leuchtdiode mit der Struktur des ersten Ausführungsbeispiels gegenüber der Leuchtdiode von Fig. 8 eine um etwa das Dreifache gesteigerte Lichtemissionswirksamkeit aufweist.

Das Dotieren von Stickstoff in die Aktivschicht 4 ist auch hinsichtlich eines Wellenlängenverkürzens vorteilhaft. Selbst wenn die Aktivschicht 4 im Aluminium-Mischkristallverhältnis auf Werte von  $x = 0.75$  anwächst, um den indirekten Übergangsbereich einzuführen (vgl. Fig. 5) so wird durch das Dotieren mit Stickstoff ein isoelektronisches Niveau gebildet, was zu einem direkten Übergang führt, so daß die Übergangswahrscheinlichkeit einer Lichtemission gesteigert ist. Tatsächlich wird unter den Bedingungen von  $x = 0.75$ ,  $y = 0.51$  eine Lichtemissionswirksamkeit von 0,2% bei einer Lichtemissionswellenlänge von 555 nm erhalten.

Im folgenden wird ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Fig. 3 zeigt eine Schnittstruktur einer zur AlGaInP-Familie gehörenden Leuchtdiode gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Diese Leuchtdiode wird durch die folgenden Schritte gebildet: Bilden einer n-Typ-InGaP-Pufferschicht 12, einer mit Si dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugschicht 13, ( $x = 1.0$ ,  $y = 0.51$ ), einer mit Se · Mg dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Aktivschicht 14 ( $x = 0.5$ ,  $y = 0.51$ ) als einer Lichtemissionsschicht, einer mit Zn dotierten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Überzugschicht 15 ( $x = 1.0$ ,  $y = 0.51$ ) und einer mit Zn dotierten GaP-Stromstreuungsschicht 16, die nacheinander auf einem n-Typ-GaP-Substrat 11 mit einer Ebene, die von der (001)-Ebene in der [110]-Richtung geneigt ist, durch beispielsweise einen MOCVD-(Metallorganische chemische Dampfabscheidung)Prozeß aufgewachsen ist; und danach Vorsehen einer n-Seitenelektrode 17 auf der Unterseite des GaP-Substrates 11 bzw. einer p-Seitenelektrode 18 auf der Oberseite der Stromstreuungsschicht 16. Obwohl ein um  $15^\circ$  versetztes Substrat 1 wie in dem ersten Ausführungsbeispiel verwendet ist, kann auch ein Substrat gerade in der (100)-Ebene verwendet werden. Die Dotierungskonzentration der Fremdstoffe in dem als das Grundmaterial der Aktivschicht 14 verwendeten  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material ist innerhalb eines Bereiches von  $1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  für Se als dem ersten Fremdstoff, der das Donatorniveau bildet, und im Bereich von  $1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  für Mg als dem zweiten Fremdstoff, der das Akzeptorniveau bildet.

Da die  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Materialien 13, 14 und 15 in einem Zustand einer Gitterfehlpassung auf dem GaP-Substrat 11 aufgewachsen sind, wird weder die Umgebung der Unterseite (Energiewert  $E_c$ ) des Leitungsbandes noch die Umgebung der Oberseite (Energiewert  $E_v$ ) des Valenzban-

des der Aktivschicht 14 nicht parabolisch, sondern jede von diesen weist einen Schwanz von etwa einigen zehn meV auf, wie dies in der Energiebanddarstellung von Fig. 4A gezeigt ist: so daß spitze Enden (nicht notwendigerweise in der Lage bestimmt) der Schwänze weg von Spitzenwerten  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  der Zustandsdichte  $G(E)$  der Ladungsträger in dem Leitungsband und dem Valenzband fallen, wie dies in Fig. 4B gezeigt ist. Aus diesem Grund ist die Übergangswahrscheinlichkeit einer normalen Lichtemission an Bandenden relativ klein.

Bei dieser Leuchtdiode bildet jedoch in der Aktivschicht 14 Se als der erste Fremdstoff ein Donatorniveau  $E_{(Se)}$  in einer Lage, die 190 meV von dem Ende (Boden)  $E_c$  des Leitungsbandes des Grundmaterials  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yP$  ( $x = 0,5$ ,  $y = 0,51$ ) entfernt ist, und Mg als der zweite Fremdstoff bildet ein Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$  in einer Lage, die 64 meV von dem Ende (Oberseite) des Valenzbandes des Basismaterials  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yP$  ( $x = 0,5$ ,  $y = 0,51$ ) entfernt ist ( $P_1$ ,  $P_2$  in Fig. 4B zeigen Spitzenwerte einer Zustandsdichte  $G(E)$  entsprechend diesem Donatorniveau  $E_{(Se)}$  bzw. Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$ ). Das Donatorniveau  $E_{(Se)}$ , das durch Se gebildet ist, und das Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$ , das durch Mg gebildet ist, sind mehr als 30 meV jeweils von den Bandenden  $E_c$  und  $E_v$  entfernt, so daß eine Strahlungsrekombination zwischen dem durch Se gebildeten Donatorniveau  $E_{(Se)}$  und dem durch Mg gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$  kaum durch die Schwänze beeinträchtigt wird. Da auch das durch Se gebildete Donatorniveau  $E_{(Se)}$  und das durch Mg gebildete Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$  innerhalb 200 meV von den Bandenden  $E_c$  bzw.  $E_v$  gelegen sind, wirken diese Elemente Se und Mg jeweils als Strahlungsrekombinationszentrum. Daher wird die interne Quantenwirksamkeit durch die Strahlungsrekombination zwischen dem durch Se gebildeten Donatorniveau  $E_{(Se)}$  und dem durch Mg gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$  gesteigert. Obwohl die Aktivschicht 14 Licht einer Wellenlänge entsprechend einem Energieabstand  $\Delta E_2$  zwischen dem durch Se gebildeten Donatorniveau  $E_{(Se)}$  und dem durch Mg gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$  emittiert, wird das durch die Aktivschicht 14 emittierte Licht im wesentlichen nicht durch das GaP-Substrat 11 absorbiert (da das GaP-Substrat für Lichtemissionswellenlängen von AlGaInP-Materialien, nämlich 650 nm–550 nm transparent ist), so daß auch die externe Quantenwirksamkeit nicht abfällt. Folglich kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert werden.

Tatsächlich wird bei der Leuchtdiode dieses zweiten Ausführungsbeispiels die Emissionslichtwellenlänge zu 621 nm abhängig von einem Energieabstand  $\Delta E_2 = 2,00$  eV zwischen dem durch Se gebildeten Donatorniveau  $E_{(Se)}$  und dem durch Mg gebildeten Akzeptorniveau  $E_{(Mg)}$ . In diesem Fall kann eine Lichtemissionswirksamkeit von 4,5% erreicht werden. Im Gegensatz hierzu beträgt bei der Leuchtdiode eines Gitteranpassungstyps, bei dem AlGaInP-Materialien auf einem GaAs-Substrat aufgewachsen sind, wie dies in Fig. 8 gezeigt ist, die Emissionslichtwellenlänge 550 nm abhängig von einem Bandabstand  $E_g (= 2,25$  eV) mit den Mischkristallverhältnissen von  $x = 0,5$ ,  $y = 0,51$  der nicht-dotierten  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yP$ -Aktivschicht 210. In diesem Fall beträgt die sich ergebende Lichtemissionswirksamkeit 0,1%. Daher hat sich gezeigt, daß in einem Vergleich mit den gleichen Mischkristallverhältnissen  $x$ ,  $y$  der Aktivschicht die Leuchtdiode mit der Struktur des zweiten Ausführungsbeispiels eine Lichtemissionswirksamkeit zeigt, die gegenüber der Leuchtdiode von Fig. 8 um das Zehnfache gesteigert werden kann. Auch beträgt bei der Leuchtdiode des Gitteranpassungstyps, bei dem AlGaInP-Materialien auf einem GaAs-Substrat aufgewachsen sind, wie dies in Fig. 8 gezeigt ist, die Lichtemissionswellenlänge entspre-

chend 635 nm, wenn die nichtdotierte  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yP$ -Aktivschicht 210 Mischkristallverhältnisse von  $x = 0,08$ ,  $y = 0,51$  hat. In diesem Fall beträgt die sich ergebende Lichtemissionswirksamkeit 0,15%. Daher hat sich gezeigt, daß in einem Vergleich hinsichtlich des Zustandes von im allgemeinen gleichen Emissionslichtwellenlängen die Leuchtdiode mit der Struktur des zweiten Ausführungsbeispiels eine Lichtemissionswirksamkeit zeigt, die gegenüber der Leuchtdiode von Fig. 8 um das Dreifache gesteigert werden kann.

Zusätzlich können Schwefel, Tellur oder dergleichen neben Stickstoff und Selen als der erste Fremdstoff, der das Donatorniveau bildet, verwendet werden, und Cadmium kann neben Zink und Magnesium als der zweite Fremdstoff herangezogen werden, der das Akzeptorniveau bildet.

Weiterhin kann AlGaAs oder dergleichen anstelle von GaP als das Material der Stromstreichschichten 6, 16 eingesetzt werden.

Die Leuchtdioden des ersten und des zweiten Ausführungsbeispiels sind als solche eines Doppelheterotyps vorgesehen, bei dem die Aktivschicht zwischen Überzugsschichten mit einem großen Energieabstand gelegen ist. Jedoch ist die vorliegende Erfindung selbstverständlich nicht hierauf begrenzt. Die vorliegende Erfindung kann allgemein auf Einzelheterotyp-Leuchtdioden, Homoübergangstyp-Leuchtdioden und andere Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtungen angewandt werden.

Wie aus der vorstehenden Beschreibung folgt, ist bei dieser Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung auf einem Halbleitersubstrat eine Lichtemissionsschicht gebildet, die Licht von Wellenlängen emittiert, das im wesentlichen nicht durch dieses Halbleitersubstrat in einem Zustand einer Gitterfehl-anpassung mit dem Halbleitersubstrat absorbiert wird, und der als ein Strahlungsrekombinationszentrum dienende Fremdstoff bildet ein Fremdstoffniveau in einer Lage, die von einem Bandende in einem verbotenen Band des als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendeten Halbleitermaterials entfernt ist. Selbst wenn daher das Bandende des als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendeten Halbleitermaterials einen Schwanz aufgrund der Gitterfehl-anpassung mit dem Halbleitersubstrat hat, wird die Strahlungsrekombination über das Fremdstoffniveau praktisch nicht bzw. kaum durch den Schwanz beeinträchtigt. Als ein Ergebnis wird die interne Quantenwirksamkeit gesteigert. Auch wird das von der Lichtemissionsschicht emittierte Licht im wesentlichen nicht durch das Halbleitersubstrat absorbiert, und auch die externe Quantenwirksamkeit wird nicht herabgesetzt. Daher kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert werden.

Da in der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung eines Ausführungsbeispiels zwei Arten von Fremdstoffen, nämlich ein erster Fremdstoff, der ein Donatorniveau bildet, und ein zweiter Fremdstoff, der ein Akzeptorniveau bildet, verwendet werden, tritt eine Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau auf. Daher wird die interne Quantenwirksamkeit höher als in dem Fall, wenn lediglich ein Fremdstoff aus dem ersten Fremdstoff oder dem zweiten Fremdstoff dotiert wird, so daß die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt weiter gesteigert ist.

In der Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung eines Ausführungsbeispiels liegt das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau liegt innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV



von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials. Selbst wenn daher das Ende des Leitungsbandes und das Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials jeweils einen Schwanz von etwa einigen zehn meV aufgrund der Gitterfehlانpassung zwischen dem Halbleitersubstrat und der Lichtemissionsschicht haben, wird die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau kaum durch die Schwänze beeinträchtigt. Auch dienen diese ersten und zweiten Fremdstoffe jeweils wirksam als Strahlungsrekombinationszentren. Demgemäß ist die interne Quantenwirksamkeit weiter durch die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau erhöht. Als eine Folge hiervon kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt weiter gesteigert werden.

In der erfindungsgemäßen Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, bei der ein AlGaInP-Material als Grundmaterial umfassende Lichtemissionsschicht auf einem GaP-Substrat in einem Zustand einer Gitterfehlانpassung mit dem GaP-Substrat aufgewachsen ist, wird in das als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht verwendete AlGaInP-Material Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als der erste Fremdstoff, der das Donatorniveau bildet, dotiert, und darüber hinaus wird Magnesium, Zink oder Cadmium als der zweite Fremdstoff, der das Akzeptorniveau bildet, dotiert. Daher bildet Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als der erste Fremdstoff das Donatorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von dem Ende des Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials, und Magnesium, Zink oder Cadmium als der zweite Fremdstoff bildet das Akzeptorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von dem Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials. Selbst wenn das Ende des Leitungsbandes und das Ende des Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten AlGaInP-Materials jeweils einen Schwanz von etwa einigen zehn meV aufgrund der Gitterfehlانpassung zwischen dem GaP-Substrat und der Lichtemissionsschicht haben, wird als Ergebnis die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau kaum durch die Schwänze beeinträchtigt. Auch dienen diese ersten und zweiten Fremdstoffe wirksam als Strahlungsrekombinationszentren. Demgemäß ist die interne Quantenwirksamkeit durch die Strahlungsrekombination zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau erhöht. Weiterhin wird Licht mit Wellenlängen von Rot bis Grün, das durch die Lichtemissionsschicht abhängig von dem Energieabstand zwischen dem durch den ersten Fremdstoff gebildeten Donatorniveau und dem durch den zweiten Fremdstoff gebildeten Akzeptorniveau emittiert ist, nicht wesentlich durch das GaP-Substrat absorbiert, so daß sich auch die externe Quantenwirksamkeit nicht vermindert. Folglich kann die Lichtemissionswirksamkeit insgesamt gesteigert werden, und eine Lichtemission einer hohen Helligkeit kann in dem Wellenlängenband von Rot bis Grün erzielt werden.

Die Erfindung schafft also eine Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, bei der eine Lichtemissionsschicht 4 auf einem Halbleitersubstrat 1 in einem Zustand einer Gitterfehlانpassung mit diesem Halbleitersubstrat 1 gebildet ist und durch die eine Lichtemission einer hohen Wirksamkeit er-

halten wird. Ein als ein Grundmaterial einer Lichtemissionsschicht verwendetes Halbleitermaterial wird mit Fremdstoffen dotiert, die als Strahlungsrekombinationszentren dienen. Das Halbleitersubstrat ist ein GaP-Substrat 1, und das Halbleitermaterial als das Grundmaterial der Lichtemissionsschicht 4 ist  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ . Dieses  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ -Material wird mit Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und auch mit Magnesium, Zink oder Cadmium als einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus dotiert.

#### Patentansprüche

1. Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, bei der eine Lichtemissionsschicht (4, 14), die Licht von Wellenlängen emittiert, das im wesentlichen nicht durch ein Halbleitersubstrat (1, 11) absorbiert wird, auf dem Halbleitersubstrat (1, 11) in einem Zustand einer Gitterfehlانpassung mit dem Halbleitersubstrat (1, 11) gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein als ein Grundmaterial der Lichtemissionsschicht (4, 14) verwendetes Halbleitermaterial mit wenigstens einem als ein Strahlungsrekombinationszentrum dienenden Fremdstoff dotiert ist.
2. Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtemissionsschicht (4, 14) zwei Arten von Fremdstoffen mit einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus enthält.
3. Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das durch den ersten Fremdstoff gebildete Donatorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von einem Ende eines Leitungsbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials gelegen ist, und das durch den zweiten Fremdstoff gebildete Akzeptorniveau innerhalb eines Bereiches von 30 meV bis 200 meV von einem Ende eines Valenzbandes des als das Grundmaterial verwendeten Halbleitermaterials gelegen ist.
4. Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung, bei der eine Lichtemissionsschicht (4, 14) mit einem AlGaInP-Material als Grundmaterial auf einem GaP-Substrat (1, 11) in einem Zustand einer Gitterfehlانpassung mit dem GaP-Substrat (1, 11) aufgewachsen ist, dadurch gekennzeichnet, daß das als Grundmaterial der Lichtemissionsschicht (4, 14) gebildete AlGaInP-Material mit Stickstoff, Sauerstoff, Selen, Schwefel oder Tellur als einem ersten Fremdstoff zum Bilden eines Donatorniveaus und mit Magnesium, Zink oder Cadmium als einem zweiten Fremdstoff zum Bilden eines Akzeptorniveaus dotiert ist.
5. Halbleiter-Lichtemissionsvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das AlGaInP-Material durch  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$  gegeben ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen





Fig.1

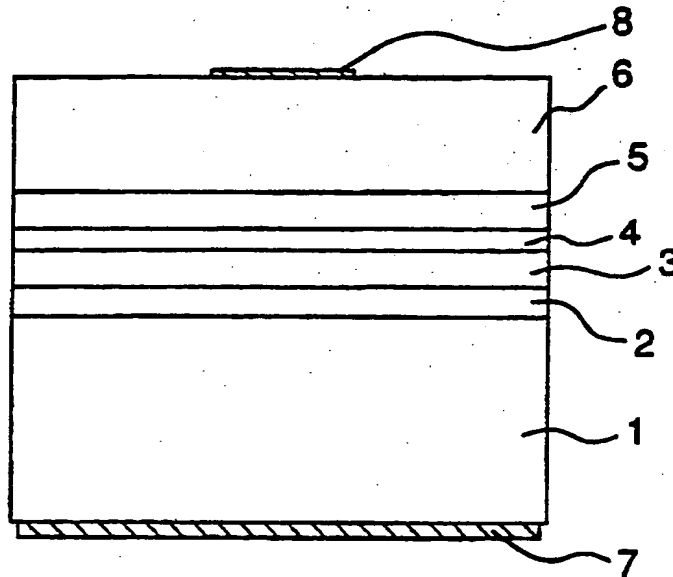


Fig.2A

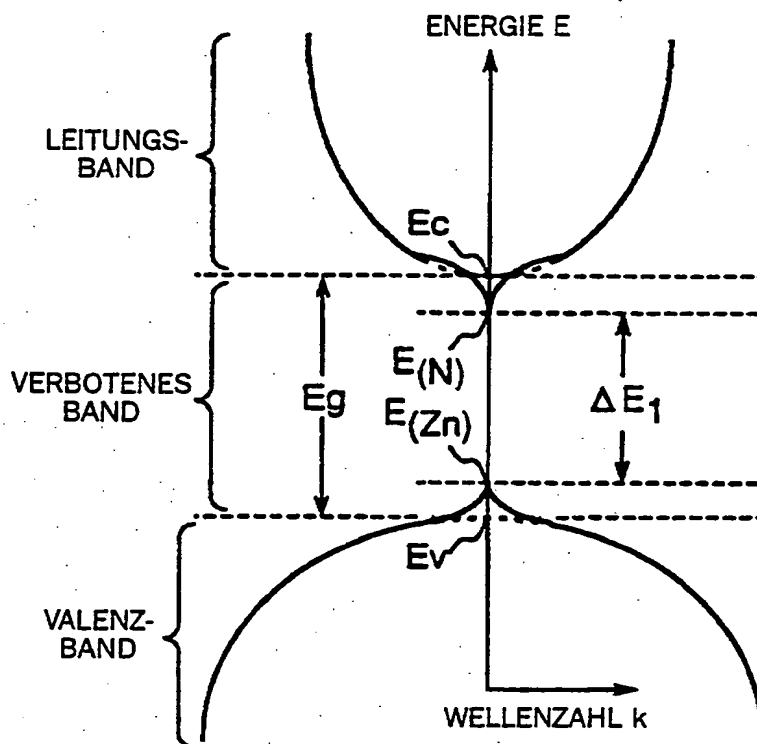
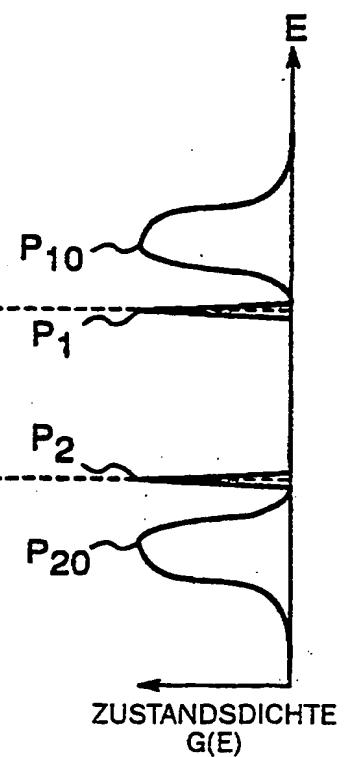
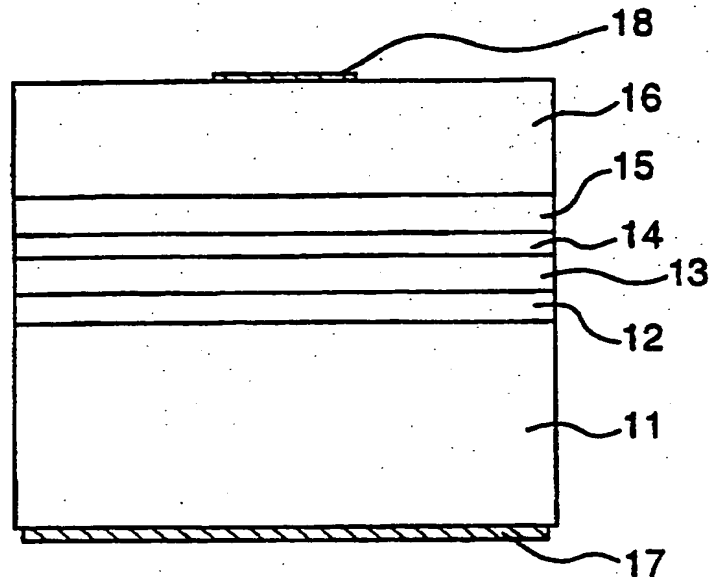


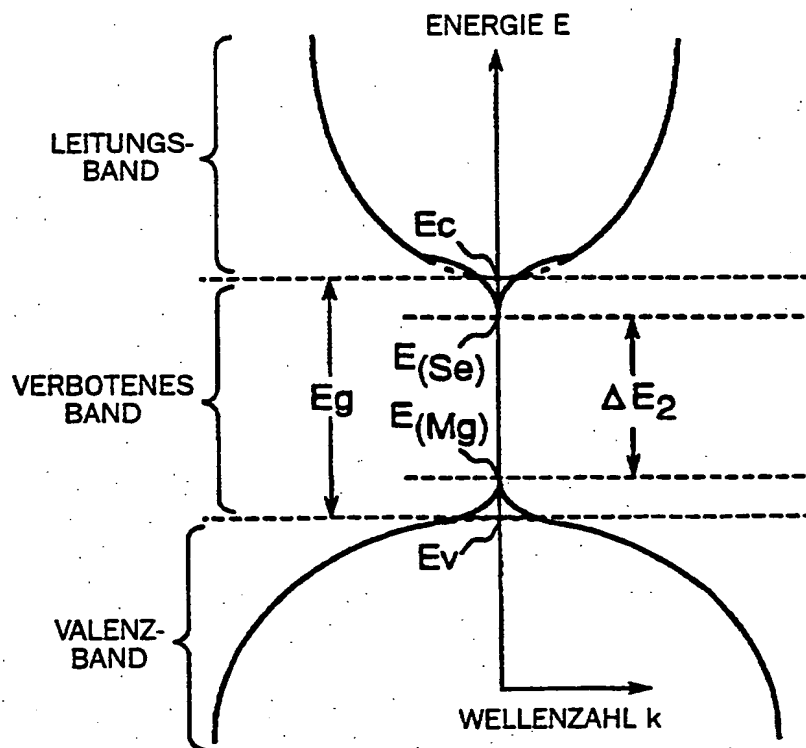
Fig.2B



**Fig.3**



**Fig.4A**



**Fig.4B**

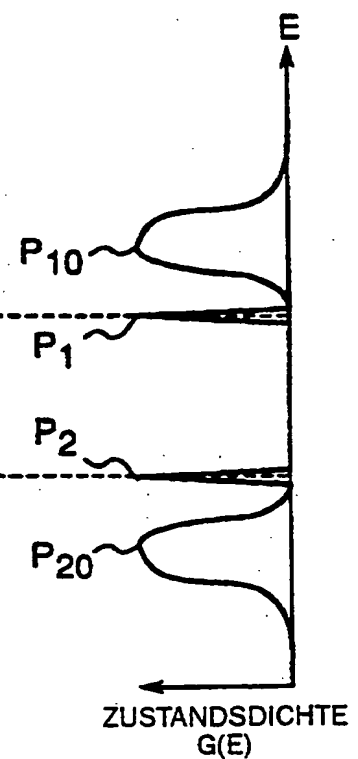
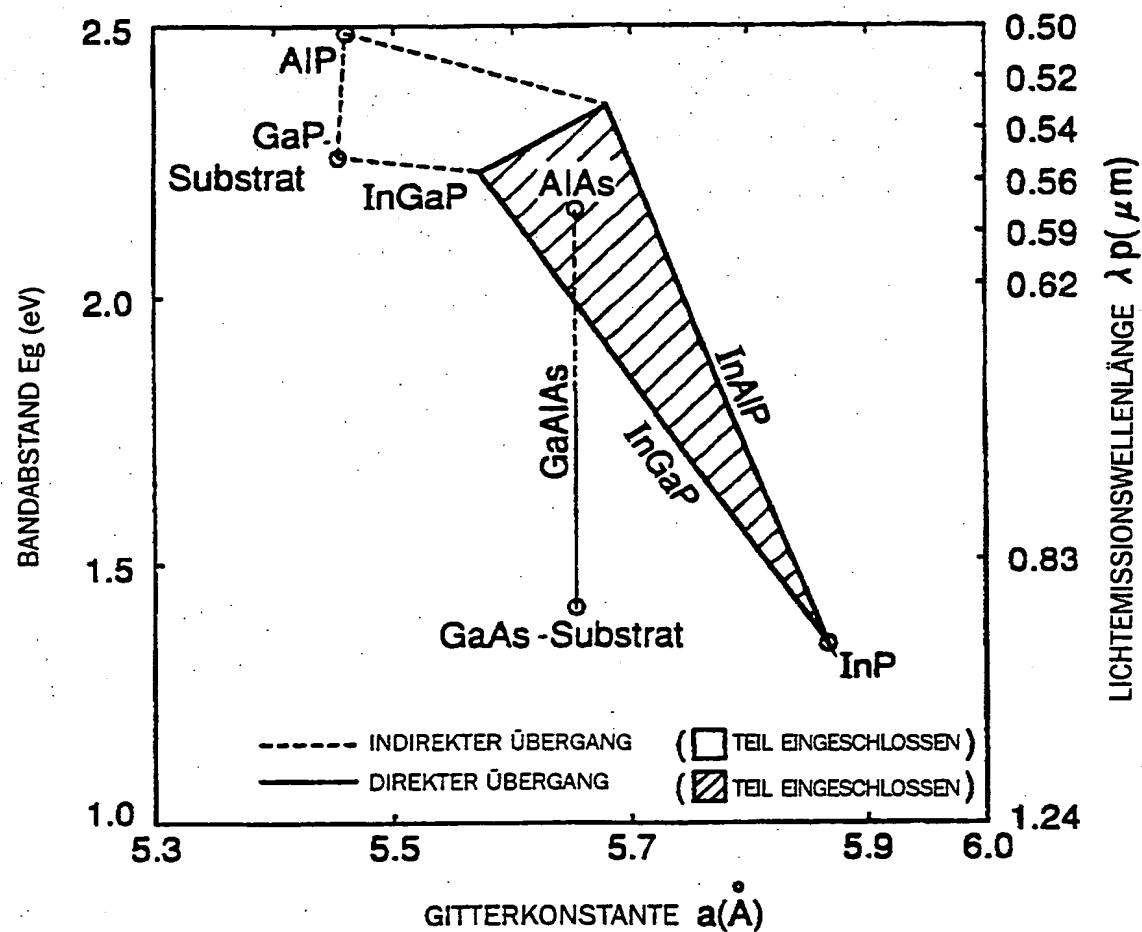
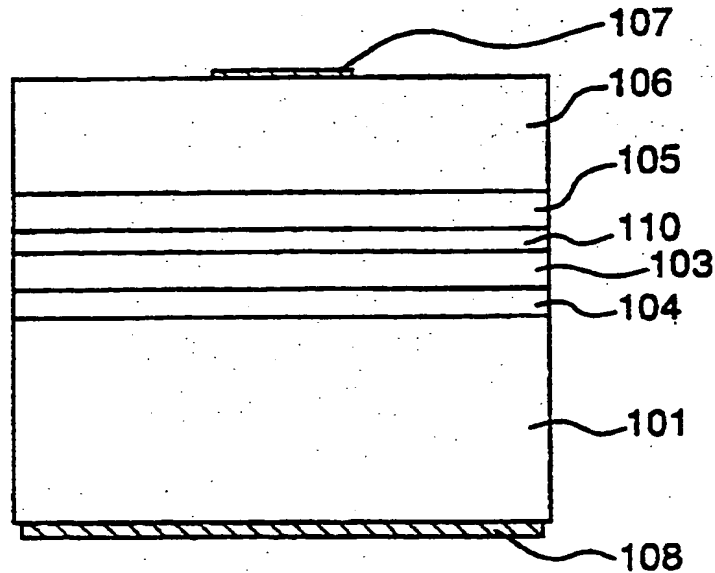
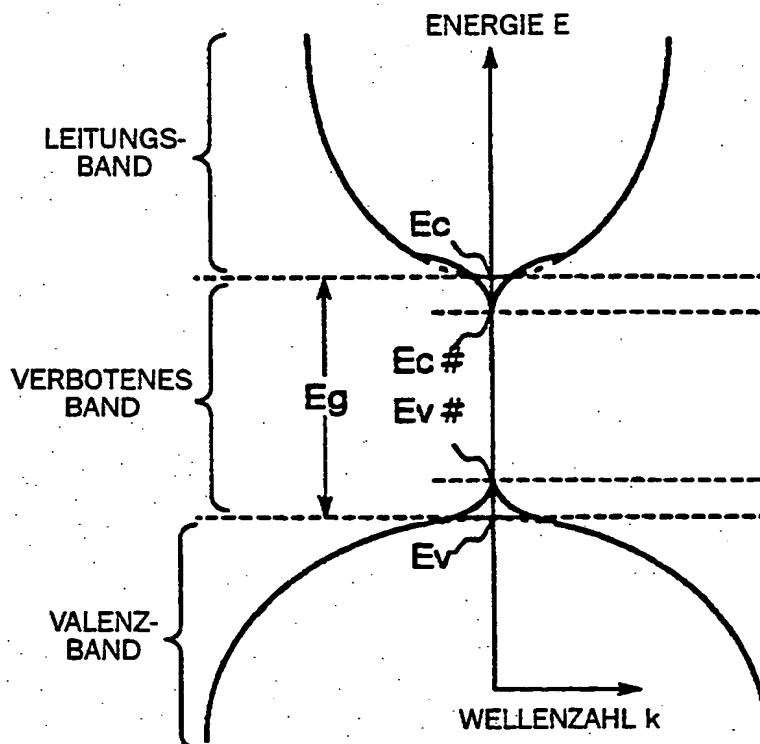
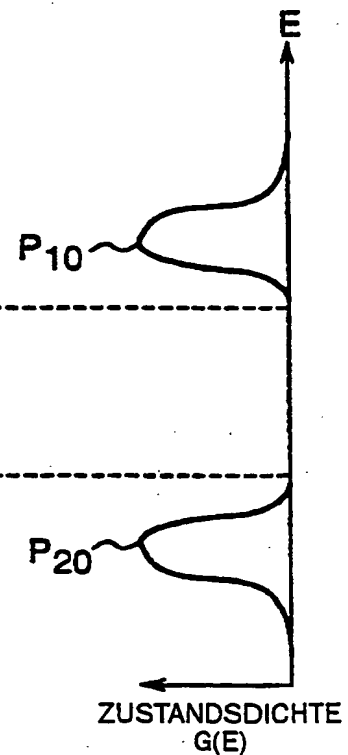
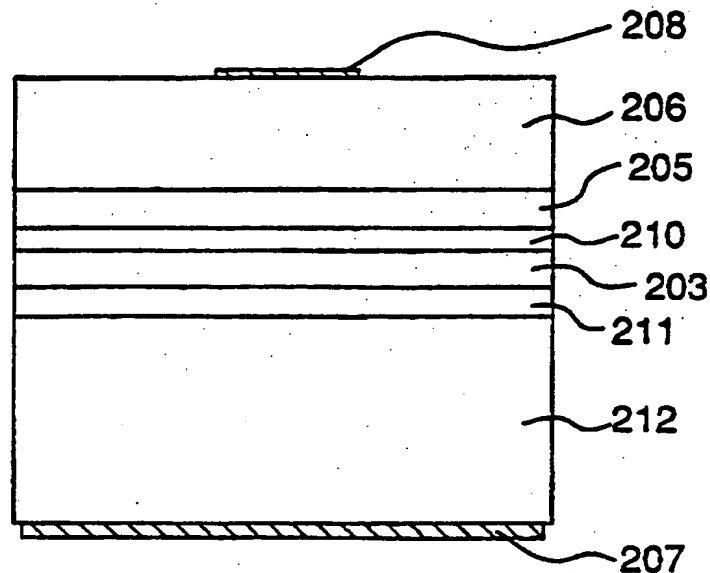


Fig.5

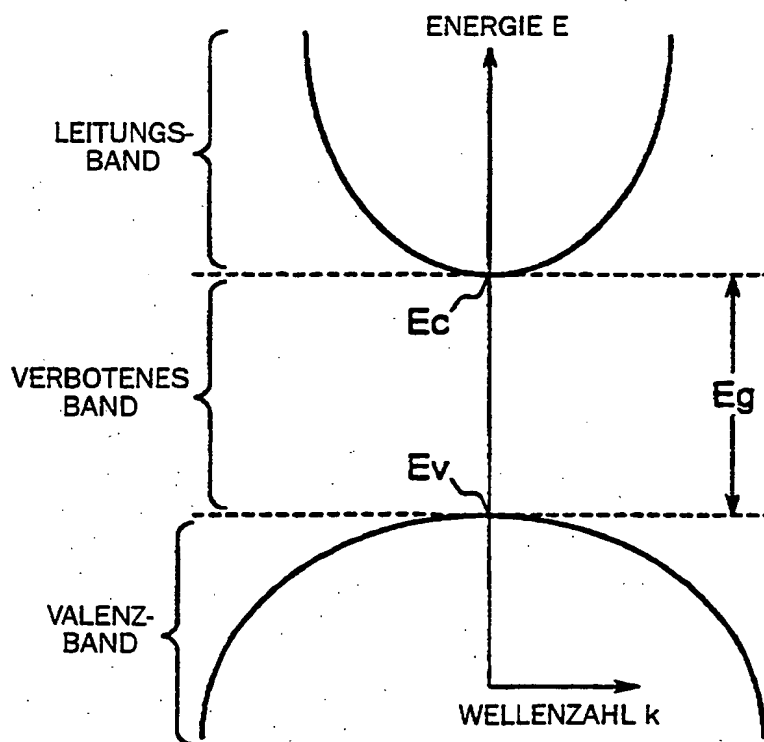


**Fig.6** STAND DER TECHNIK**Fig.7A**  
STAND DER TECHNIK**Fig.7B**  
STAND DER TECHNIK

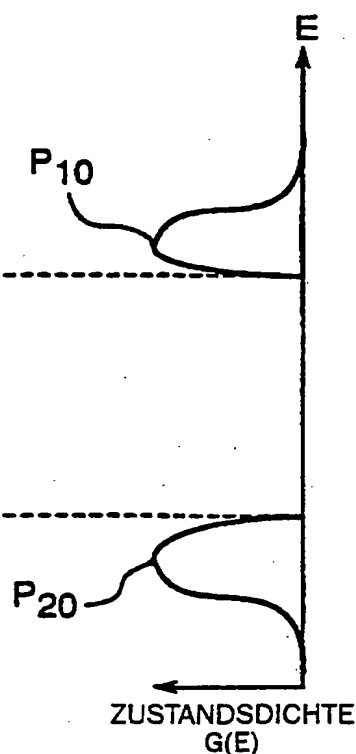
**Fig.8** STAND DER TECHNIK



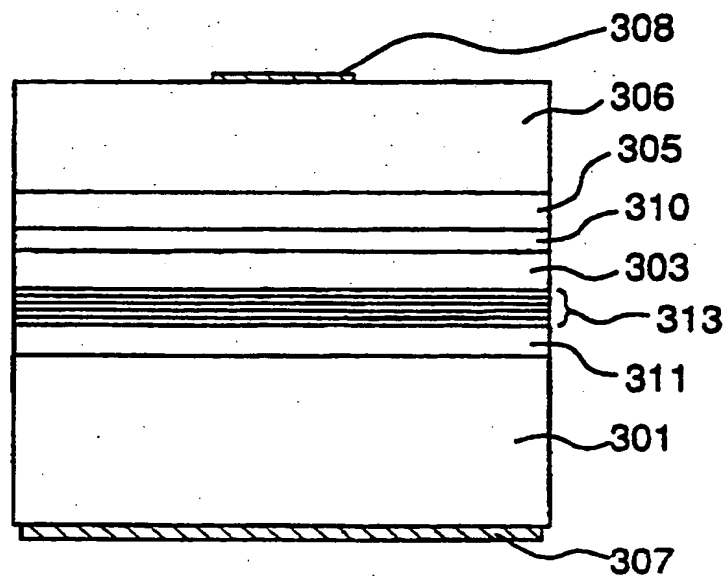
**Fig.9A**  
STAND DER TECHNIK



**Fig.9B**  
STAND DER TECHNIK



**Fig.10** STAND DER TECHNIK



**Fig.11** STAND DER TECHNIK

